

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

552166

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
21. Oktober 2004 (21.10.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/090312 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **F02D 35/02**, 41/40
- (21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/EP2004/003723**
- (22) Internationales Anmeldedatum:
7. April 2004 (07.04.2004)
- (25) Einreichungssprache: **Deutsch**
- (26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch**
- (30) Angaben zur Priorität:
103 16 113.9 9. April 2003 (09.04.2003) **DE**
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **DAIMLERCHRYSLER AG** [DE/DE]; Epplestrasse 225, 70567 Stuttgart (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **GÄRTNER, Uwe** [DE/DE]; Ziegelweg 6/1, 73630 Remshalden (DE).
- (74) Anwälte: **KOLB, Georg** usw.; DaimlerChrysler AG, Intellectual Property Management, IPM/C-106, 70546 Stuttgart (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Veröffentlicht:
— mit internationalem Recherchenbericht
- Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: OPERATING METHOD FOR A SELF-IGNITION INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM BETRIEB EINER BRENNKRAFTMASCHINE MIT SELBSTZÜNDUNG

(57) Abstract: The invention relates to an operating method for a self-ignition internal combustion engine. The inventive method consists in injecting a dosed fuel quantity into a combustion chamber by means of an engine control device in such a way that a combustion centre of gravity is located in the predetermined constant angle position of a crankshaft independently of the loading point of said internal combustion engine. The combustion centre of gravity is adjusted by continuous fuel injection variation. In order to determine the combustion centre of gravity, a sensor detects a pressure fluctuation in the combustion chamber.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Verfahren zum Betrieb einer selbstzündenden Brennkraftmaschine, bei dem eine zugemessene Kraftstoffmenge mittels der Motorsteuereinrichtung derart in den Brennraum eingespritzt wird, dass ein Schwerpunkt Verbrennung unabhängig vom Lastpunkt der Brennkraftmaschine bei einer konstanten und zuvor bestimmten Kurbelwinkelposition liegt. Hierbei wird der Schwerpunkt der Verbrennung mittels Variation der Kraftstoffeinspritzung eingestellt, wobei zur Ermittlung des Schwerpunkts der Verbrennung ein Druckverlauf im Brennraum mittels eines Sensors erfasst wird.

WO 2004/090312 A1

-1-

Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine
mit Selbstzündung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine mit Selbstzündung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Ziel der Entwicklung von neuen Dieselmotoren ist es, den Kraftstoffverbrauch zu reduzieren und Abgasemissionen, insbesondere die Stickoxid-Emissionen sowie die Rußpartikelbildung zu minimieren. Bei den modernen Brennkraftmaschinen mit Selbstzündung dient oft eine Abgasrückführung als Mittel zur Emissionssenkung, wobei eine Abgasrückführrate lastpunktabhängig eingestellt wird.

Eine weitere Senkung der Stickoxid-Emissionen kann mittels eines SCR-Katalysators erzielt werden, in dem die Zugabe bzw. die Dosierung eines Reduktionsmittels, z.B. Ammoniak, proportional zu der Stickoxidentstehung in der Brennkraftmaschine vorgenommen wird. Die erforderlichen Sicherheitseinrichtungen lassen nur begrenzte Umsätze eines solchen SCR-Katalysators zwischen 60% und 70% zu, da die Stickoxid-Rohemissionen der Brennkraftmaschine nur aus bekannten Kennfeld-Daten ermittelt werden können. Derzeit befinden sich Sensoren zur direkten Messung der Stickoxid- oder Ammoniakkonzentrationen im Abgas noch im Forschungsstadium, da derzeit solche Sensoren noch zu ungenau oder extrem querempfindlich sind.

BESTÄTIGUNGSKOPIE

-2-

Die Kraftstoffwirtschaftlichkeit einer Brennkraftmaschine ergibt sich in der Regel nur indirekt aus den in der Motorsteuerung hinterlegten Motorkennfeldern für den jeweiligen Einspritzzeitpunkt. Es erfolgt dabei keine Rückmeldung bzw. eine Korrektur über den aktuellen Wirkungsgrad oder den Kraftstoffverbrauch der Brennkraftmaschine.

Aus der DE 197 34 494 C1 ist ein Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine bekannt, bei dem eine Rückführrate des Abgases auf Basis einer zweifachen Messung der Sauerstoffkonzentration im Abgas bzw. in der Ladeluft errechnet wird. Neben dem hohen messtechnischen Aufwand wird bei dieser Methode lediglich die Rückführrate des Abgases bestimmt.

Aus der DE 100 43 383 C2 ist ein Verfahren zur Bestimmung des Stickoxidgehalts in Abgasen von Brennkraftmaschinen bekannt, bei dem die der Brennkraftmaschine zugeführte Luftmasse erfasst wird, wobei aus mindestens einem aktuellen Messwert des Motorbetriebs eine Bestimmung des Schwerpunkts der Verbrennung erfolgt. Aus dem Wert für die Lage des Schwerpunkts der Verbrennung sowie den Werten der erfassten Kraftstoffmenge und Luftmasse werden die NOx-Rohemissionen berechnet.

Der Schwerpunkt der Verbrennung beschreibt auf Basis des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik jenen Zustand im Brennraum, bei dem 50% der eingebrachten Kraftstoffenergie umgewandelt wurde. Die Lage des Schwerpunkts ist die zugehörige Kurbelwinkelposition, d.h. eine Kurbelwinkelposition des Kolbens, bei der 50% der an der Verbrennung teilnehmenden Kraftstoffmenge in Wärme umgesetzt wurde.

Der erhebliche Aufwand zur gleichzeitigen Bestimmung von Luft, Kraftstoff und Abgasrückführdaten ist nachteilig, da für die Berechnung des Schwerpunkts der Verbrennung

-3-

ein nach dem Kurbelwinkel aufgelöster Brennraumdruckverlauf erforderlich ist, dessen messtechnische Bestimmung aufwendig ist.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Regelung einer Brennkraftmaschine bereitzustellen, mit dem ein verbrauchsoptimierter Betrieb der Brennkraftmaschine bei einer gleichzeitigen Senkung der NO_x-Emissionen gewährleistet ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass während eines Arbeitsspiels der Brennkraftmaschine eine Kraftstoffmenge betriebspunktabhängig zugemessen wird, wobei die zugemessene Kraftstoffmenge derart in den Brennraum eingespritzt wird, dass eine Lage des Schwerpunkts jeder Verbrennung unabhängig vom Betriebspunkt der Brennkraftmaschine bei einer vorgegebenen Kurbelwinkelposition liegt.

Gemäß der vorliegenden Erfindung steht der Wirkungsgrad der selbstzündenden Brennkraftmaschine in direktem Zusammenhang mit der Lage des Verbrennungsschwerpunkts. Hierbei werden die Motorparameter derart eingestellt, dass bei der jeweiligen Verbrennung bzw. bei jeder Verbrennung die Lage des Schwerpunkts unabhängig vom gefahrenen Betriebspunkt bei einer bestimmten Kurbelwinkelposition liegt. Diese kann für die jeweilige Brennkraftmaschine vor dem Betrieb der Brennkraftmaschine z.B. am Prüfstand ermittelt werden. Bei dieser für die jeweilige Brennkraftmaschine zuvor bestimmte Lage des Verbrennungsschwerpunkts wird ein maximaler Wirkungsgrad erzielt. Diese zuvor bestimmte Lage des Schwerpunkts soll dann

-4-

möglichst über die gesamte Lebensdauer der Brennkraftmaschine beibehalten werden.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird ein aktuelle Lage des Schwerpunkts der Verbrennung in Abhängigkeit von einem erfassten Druckverlauf im Brennraum bestimmt, wobei vorzugsweise der Druckverlauf im Brennraum mittels eines Sensors erfasst wird. Hierdurch wird eine exakte Ermittlung der Lage des Schwerpunktes erzielt. Vorzugsweise wird hierzu der aktuelle Wert der Schwerpunktslage der Verbrennung mit Hilfe eines Rechenmodells ermittelt, wodurch der messtechnische Aufwand weiter reduziert werden kann.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird der aktuelle Schwerpunkt der Verbrennung in Abhängigkeit von einer Kugelwinkelposition bestimmt, bei der ein maximaler Zylinderdruck im Brennraum erfasst wird. Demnach wird die Schwerpunktslage der Verbrennung mit Hilfe eines empirischen Modells durch einen Zeitpunkt bestimmt, bei dem der maximale Druck im Zylinder, z.B. ein Zünddruck vorliegt. Gemäß der vorliegenden Erfindung hängt die Schwerpunktslage von der Kurbelwinkelposition des im Brennraum maximal auftretenden Drucks ab. Hierdurch wird eine Bestimmung des Verbrennungsschwerpunktes wesentlich vereinfacht vorgenommen, da eine Verarbeitung bzw. detaillierte Auflösung des gesamten Zylinderdruckverlaufs im Brennraum nach dem Kurbelwinkel während der Verbrennung entfällt.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird der aktuelle Schwerpunkt der Verbrennung in Abhängigkeit von einer Kraftstoffeinspritzdauer, einem Kraftstoffeinspritzbeginn, einer Ladungsmasse im Brennraum und einer Drehzahl der Brennkraftmaschine ermittelt. Dabei kann die

Ladungsmasse zur Vereinfachung aus den in der Motorsteuereinrichtung abgelegten Kennfeldern entnommen werden. Hierdurch wird die Bestimmung des Verbrennungsschwerpunktes über ein empirisches Modell weiter vereinfacht. Eine schnelle Berechnung bzw. Bestimmung der Lage des Schwerpunktes der Verbrennung kann somit ohne den Einsatz von aufwendigen Sensoren im Brennraum erzielt werden.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird eine Abgasrückführmenge zur Einstellung einer definierten Sauerstoffkonzentration im Brennraum in Abhängigkeit von der Schwerpunktslage der Verbrennung eingestellt. Hierbei wird aus einer ermittelten NO_x-Rohemission der Brennkraftmaschine die notwendige Abgasrückführrate errechnet und die Abgasrückführung solange geregelt, bis sich eine definierte Sauerstoffkonzentration im Brennraum ergibt. Vorzugsweise wird ein Sollwert der Sauerstoffkonzentration als ein konstanter Wert in einem Kennfeld der Brennkraftmaschine in der Motorsteuereinrichtung hinterlegt.

In einer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Lage des Schwerpunkts der Verbrennung mittels einer Variation des Beginns der Selbstzündung und/oder mittels Variation der Kraftstoffeinspritzung eingestellt. Dadurch wird eine gezielte und schnelle Regelung der Brennkraftmaschine beim jeweiligen Lastpunkt erzielt, so dass die Brennkraftmaschine mit einem maximalen Wirkungsgrad bei reduzierter NO_x-Rohemissionsbildung betrieben.

Weitere Merkmale und Merkmalskombinationen ergeben sich aus der Beschreibung. Konkrete Ausführungsbeispiele der Erfindung sind anhand der Zeichnungen vereinfacht dargestellt und in der nachfolgenden Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 einen Querschnitt durch einen Zylinder einer direkteinspritzenden Brennkraftmaschine mit Selbstzündung,
- Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Wirkungsgradverlaufs einer Brennkraftmaschine nach Fig. 1 in Abhängigkeit vor der Lage des Schwerpunkts der Verbrennung,
- Fig. 3 ein schematisches Diagramm der Lage des maximalen Zylinderdruckes der Brennkraftmaschine nach Fig. 1 in Abhängigkeit von der Lage des Schwerpunkts der Verbrennung,
- Fig. 4 eine schematische Darstellung eines Vergleiches von zwei Berechnungsmethoden zur Ermittlung der Lage des Schwerpunkts der Verbrennung,
- Fig. 5 eine schematische Darstellung einer Korrelation zwischen einer gemessenen Lage des Schwerpunktes und einer gemäß einem Modell errechneten Lage des Schwerpunktes,
- Fig. 6 eine schematische Darstellung eines Gastemperaturverlaufes im Brennraum einer Brennkraftmaschine gemäß Fig. 1 während der Verbrennung,
- Fig. 7 eine schematische Darstellung eines Zusammenhangs zwischen einem Gradienten der Gastemperatur und einer NO_x-Rohemission einer Brennkraftmaschine gemäß Fig. 1,

-7-

- Fig. 8 eine schematische Darstellung der Maxima einer mittleren Gastemperatur im Brennraum in Abhängigkeit von einer momentanen NO_x-Rohemission einer Brennkraftmaschine gemäß Fig. 1,
- Fig. 9 eine schematische Darstellung des Verlaufs einer NO_x-Reduktionsrate in Abhängigkeit von einer Abgasrückführungsrate, und
- Fig. 10 eine schematische Darstellung des Verlaufs einer NO_x-Reduktionsrate in Abhängigkeit von einer Sauerstoffkonzentration der Verbrennungsluft einer Brennkraftmaschine gemäß Fig. 1.

In Fig. 1 ist ein Zylinderblock 1 einer selbstzündenden Brennkraftmaschine mit Direkteinspritzung im Querschnitt dargestellt. In einem Zylinder 2 ist ein Kolben 12 verschiebbar geführt, mit dessen Oberseite und einem Zylinderkopf 13 ein Brennraum 11 begrenzt ist. Ein Einlassventil 14 und ein Auslassventil 17 sind im Zylinderkopf 13 angeordnet, wobei durch das Einlassventil 14 dem Brennraum 11 die notwendige Verbrennungsluft über ein Saugrohr 15 zugeführt wird. Vorzugsweise wird die jeweilige Luftmasse durch einen Luftmassenmesser 16 erfasst, der über eine Leitung 22 mit einer Motorsteuereinrichtung 6 verbunden ist.

Durch das Auslassventil 17 gelangen Verbrennungsgase in eine Abgasleitung 18, die zu einer in der Zeichnung nicht dargestellten Abgasnachbehandlungseinrichtung führt. Diese weist insbesondere zur effektiven Senkung der NO_x-Emissionen einen SCR-Katalysator auf. Weiterhin dient eine aus der Abgasleitung 18 abgezweigte Abgasrückführleitung 19 dazu, Verbrennungsgase in das Saugrohr 15 zurück-

zuführen. In dieser Abgasrückführleitung 19 befindet sich ein Durchflussmesser 20 zur Erfassung des rückgeführten Abgasdurchflusses und zur Einstellung der rückgeführten Abgasmenge. Die erfasste Menge des rückgeführten Abgases wird über eine Leitung 21 an die Motorsteuereinrichtung 6 übertragen.

Des Weiteren ist im Zylinderkopf 13 ein Drucksensor 3 im Brennraum 11 angeordnet, mit dem ein im Brennraum vorliegender Druck über eine Verbindungsleitung 4 an die Motorsteuereinrichtung 6 übertragen wird. Ein Kraftstoffeinspritzventil 25 ist weiterhin im Zylinderkopf 13 angeordnet, welches über eine Einspritzleitung 26 mit einer Einspritzpumpe 23 verbunden ist. Zwischen der Einspritzpumpe 23 und dem Kraftstoffeinspritzventil 25 ist eine Messvorrichtung 24 zur Kraftstoffmengenerfassung vorgesehen. Diese Kraftstoffmesseinrichtung 24 ist über eine elektrische Leitung 27 mit der Motorsteuereinrichtung 6 verbunden. Die Einspritzpumpe 23 ist ebenfalls mit der Motorsteuereinrichtung durch eine Steuerleitung 28 verbunden.

Das erfindungsgemäße Verfahren zielt darauf ab, die Brennkraftmaschine verbrauchsoptimiert mit einem hohen Wirkungsgrad und möglichst bei gleichzeitiger Minimierung der NO_x-Emissionen zu betreiben. Erfindungsgemäß wird mittels des Kraftstoffeinspritzventils 25 eine betriebspunktabhängige Kraftstoffmenge in den Brennraum 11 eingebracht. Diese wird derart in den Brennraum 11 eingebracht, dass ein bestimmte Lage des Schwerpunkts bei jeder Verbrennung, d.h. unabhängig vom Betriebspunkt, bei einer konstanten und zuvor bestimmten Kurbelwinkelposition liegt. Bei dieser zuvor bestimmten und in Motorsteuereinrichtung 6 abgelegten Schwerpunktslage der Verbren-

nung (Soll-Schwerpunkt) liegt gemäß Fig. 2 ein verbrauchsoptimierter Betrieb der Brennkraftmaschine vor. Um den verbrauchsoptimierten Betrieb zu gewährleisten, wird eine aktuelle Schwerpunktslage der Verbrennung bestimmt und mit dem Soll-Schwerpunkt verglichen. Liegt eine Abweichung vor, dann werden notwendige Betriebsparameter solange verändert, bis die Lage der Verbrennung möglichst dem Soll-Schwerpunkt entspricht.

Da gemäß der vorliegenden Erfindung der Wirkungsgrad der selbstzündenden Brennkraftmaschine in direktem Zusammenhang mit der Lage des Verbrennungsschwerpunkts steht, werden die Motorparameter, insbesondere die Kraftstoffeinspritzparameter wie Einspritzzeitpunkt, Einspritzdauer sowie Einspritztaktung derart eingestellt, dass bei der jeweiligen Verbrennung bzw. bei jeder Verbrennung die optimale Lage des Schwerpunkts vorliegt. Die optimale Lage der Verbrennung bzw. der Soll-Schwerpunkt der Verbrennung kann für die jeweilige Brennkraftmaschine z.B. am Prüfstand ermittelt werden. Dieser Soll-Wert wird dann für die jeweilige Brennkraftmaschine in der Motorsteuereinrichtung 6 abgelegt.

Die Einstellung der Schwerpunktslage bzw. die Anpassung des aktuellen Werts an den Soll-Wert kann mittels einer Variation des Beginns der Selbstzündung und/oder mittels der Variation der Kraftstoffeinspritzung erzielt werden. Dadurch wird eine gezielte und schnelle Regelung der Brennkraftmaschine beim jeweiligen Lastpunkt durchgeführt, so dass die Brennkraftmaschine mit einem hohen Wirkungsgrad betrieben wird. Wird beispielsweise die lastabhängige Kraftstoffmenge in Form einer Vor-, Haupt- und gegebenenfalls einer Nacheinspritzung in den Brennraum 11 eingebracht, dann können sowohl die Einspritz-

-10-

zeitpunkte als auch die Kraftstoffmengenverhältnisse der jeweiligen Teilmengen variiert werden, um die Anpassung der aktuellen Schwerpunktslage der Verbrennung an den Soll-Wert zu erzielen. Weiterhin können die Kraftstoffeinspritzdrücke der Vor-, Haupt- und gegebenenfalls der Nacheinspritzung variiert werden.

Für die Bestimmung der Lage des Schwerpunkts sind unterschiedliche Methoden bekannt. Die klassische Berechnungsmethode basiert auf der Analyse des Zylinderdruckverlaufs der jeweiligen Verbrennung. Als Grundlage dient hierfür der erste Hauptsatz der Thermodynamik. Bei dieser Methode sind der Druckverlauf im Brennraum, die Volumenänderung, ein Modell für die Wandwärmeverluste und die Ladungsmasse zur Bestimmung der aktuellen Schwerpunktslage erforderlich.

Alternativ kann die Lage des Schwerpunkts aus dem Heizverlauf der Verbrennung ermittelt werden. Demnach ist eine temperaturabhängige Berechnung der inneren Energie bzw. des Polytropenexponenten erforderlich. Dabei dient ebenfalls der erste Hauptsatz der Thermodynamik als Grundlage, wobei der Druckverlauf im Brennraum, die Volumenänderung und Ladungsmasse der jeweiligen Verbrennung bekannt sein müssen. Diese Methode kann als eine Online-Berechnung am Prüfstand oder am Motor in der Motorsteuereinrichtung durchgeführt werden. Diese Methode weist nur geringfügige Abweichungen von der ersten Berechnungsmethode auf.

Eine weitere Methode zur Bestimmung der Lage des Schwerpunkts kann erfindungsgemäß mit Hilfe eines empirischen Modells aus Einspritzdaten, wie Einspritzbeginn, Einspritzdauer, sowie Drehzahl der Brennkraftmaschine bei

-11-

bekannter Ladungsmasse erfolgen, wobei die Ladungsmasse vorzugsweise in einem in der Motorsteuereinrichtung 6 abgelegten Kennfeld gespeichert ist. Die Schwerpunktslage in Kurbelwinkelgraden wird erfindungsgemäß primär durch die Daten des Einspritzbeginns, der eingespritzten Kraftstoffmenge bzw. Einspritzdauer sowie der Motordrehzahl bestimmt. Späte Einspritzbeginne, höhere Einspritzmengen und Drehzahlen bewirken eine Verschiebung der Schwerpunkt-Position weg von einem oberen Totpunkt OT in die Expansionsphase. Hinzu kommt ein schwach ausgeprägter Einfluss der Luftmasse im Zylinder 2.

Eine Berechnungsgleichung für die Lage des Schwerpunktes in Grad Kurbelwinkel lautet wie folgt:

$$SP = a_0 + a_1 \cdot SB + a_2 \cdot SD + a_3 \cdot t + a_4 \cdot m_{zy1} .$$

Dabei steht SP für die Lage des Schwerpunkts der Verbrennung, SB für den Einspritzbeginn, SD für die Einspritzdauer, t für die Zeitdauer je Arbeitsspiel, m_{zy1} für die Ladungsmasse. Die Koeffizienten a_0 bis a_4 sind Modellkoeffizienten für die jeweilige Brennkraftmaschine. Die Qualität des Modells nach der o.g. Gleichung ist gemäß der Darstellung in Fig. 5 zu sehen, wo eine gute Korrelation zwischen der durch das Modell ermittelten Lage des Schwerpunktes und einer über den ersten Hauptsatz der Thermodynamik errechneten Lage des Schwerpunktes der Verbrennung zu sehen ist.

Mit Hilfe des im Brennraum 11 vorgesehenen Drucksensors 3 wird vorzugsweise ein Druckverlauf im Brennraum 11 während eines Arbeitsspiels erfasst und an die Motorsteuereinrichtung 6 weitergeleitet. Aus dem erfassten Druckverlauf kann die aktuelle Schwerpunktslage der Verbrennung bestimmt werden. Die Lage des Schwerpunkts ändert sich

-12-

bezüglich des Kurbelwinkels bei Änderung des Verbrenungsverlaufes. Mit Hilfe des erfassten Druckverlaufes und der zugemessenen Kraftstoffmenge pro Arbeitspiel wird ein Wirkungsgrad der Brennkraftmaschine mit Hilfe der Motorsteuereinrichtung 6 bestimmt, der in einem direkten Zusammenhang gemäß Fig. 2 mit der Lage des Schwerpunkts der Verbrennung steht. Hierbei kann der Schwerpunkt der Verbrennung aus der Indizierung des Zylinderdruckes in Kombination mit einer Messung der Kolbenposition im Brennraum über den ersten Hauptsatz der Thermodynamik berechnet werden.

Gemäß Fig. 2 soll bei der Brennkraftmaschine unabhängig vom Lastpunkt ein maximaler Wirkungsgrad bei einer bestimmten Lage des Schwerpunktes eingestellt werden. Hierbei ist es notwendig die Verbrennung derart zu regeln, dass die Lage des Schwerpunkts der Verbrennung bei der Kolbenposition liegt, bei der der maximale Wirkungsgrad erreicht wird, z.B. gemäß Fig. 2 bei 5°KW nach OT. Dies kann durchaus ein kleiner Bereich, d.h. ein Kurbelwinkel-fenster sein, der durch die Motorsteuereinrichtung 6 angestrebt wird.

Alternativ kann die Kurbelwinkelposition eines maximalen Brennraumdruckes dazu dienen, die Schwerpunktslage der Verbrennung präzise und schnell zu bestimmen. Hierbei liegt gemäß Fig. 3 ein direkter empirischer Zusammenhang zwischen dem maximal auftretenden Brennraumdruck und der Lage des Schwerpunktes während eines Arbeitsspiels vor. Dabei kann die Schwerpunktslage vorzugsweise gemäß der Erfindung über ein empirisches Modell aus einem Zünddruck ermittelt werden. Hierfür werden der maximale Zylinderdruck und die dazugehörige Kurbelwinkelposition erfasst.

Weiterhin kann erfindungsgemäß mit Hilfe des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik aus dem Heizverlauf mit konstantem Polytropenexponent unter Einbeziehung des Druckverlaufs sowie der Volumenänderung die Lage des Schwerpunkts ermittelt werden, wobei hier die Erfassung der Luftmasse im Zylinder nicht benötigt wird. Gemäß Fig. 4 zeigt diese Methode ebenfalls eine gute Korrelation mit bisher bekannten Messmethoden.

Mit Hilfe der vorliegenden Erfindung kann ebenfalls die NO_x-Rohemission der selbstzündenden Brennkraftmaschine bestimmt werden, so dass die Betriebsweise bzw. Einstellung der in Fig. 1 nicht dargestellten Abgasnachbehandlungseinrichtung optimiert wird. Erfindungsgemäß wird der Verlauf einer mittleren Gastemperatur im Brennraum 11 der Brennkraftmaschine ermittelt, so dass ein Gradient der Gastemperatur zu einer Kurbelwinkeländerung $dT/d\phi$ in einem definierten Kurbelwinkelfenster gemäß Fig. 6 berechnet wird und daraus gemäß Fig. 7 eine NO_x-Rohemission der Brennkraftmaschine ermittelt wird.

Der Gradient der Gastemperatur in einem definierten Kurbelwinkelbereich steht erfindungsgemäß in einem direkten Zusammenhang mit der NO_x-Rohemission der Brennkraftmaschine. Somit wird eine Bestimmung der NO_x-Rohemission der Brennkraftmaschine beispielsweise zur Optimierung einer nachgeschalteten Abgasnachbehandlungseinrichtung präzise vorgenommen und auf einem schnellen Wege durchgeführt. In Fig. 8 ist der Zusammenhang zwischen der maximalen mittleren Gastemperatur im Brennraum und einer momentanen NO_x-Rohemission der Brennkraftmaschine dargestellt. Bei entsprechender Regelung der Verbrennung kann demgemäß die Bildung der NO_x-Emissionen während der Verbrennung minimiert werden. Dabei wird die dem Brenn-

-14-

raum zugemessene Kraftstoffmasse solange geregelt, bis sich eine konstante Kurbelwinkelposition des Verbrennungsschwerpunktes ergibt.

In der Regel kann eine relative NO_x-Reduktion durch eine Abgasrückführung bewerkstelligt werden. Demnach steht die relative NO_x-Reduktion in direktem Zusammenhang mit der Sauerstoff-Konzentration der Zylinderladung. Je nach Lastpunkt der Brennkraftmaschine ergeben sich gemäß Fig. 9 beim heutigen Stand der Technik aus den gleichen Abgasrückführraten unterschiedliche prozentuale Stickoxid-Absenkungen. Im Gegensatz hierzu wird erfindungsgemäß die Sauerstoffkonzentration der Zylinderladung als eine Mess- bzw. Regelgröße verwendet. Demnach wird dann eine definierte Sauerstoff-Konzentration der Verbrennungsluft im Brennraum 11 eingestellt. Diese wird gemäß Fig. 10 gemessen bzw. als eine Stell- und Messgröße benutzt.

Die ermittelte NO_x-Rohemission der Brennkraftmaschine aus einem Maximalwert der mittleren Gastemperatur im Brennraum gemäß Fig. 8 wird dann für eine angestrebte notwendige NO_x-Reduktion herangezogen und daraus gemäß Fig. 10 eine Abgasrückführrate bestimmt. Die Abgasrückführmenge wird demnach derart geregelt, dass sich eine definierte Sauerstoffkonzentration im Einlasskanal 15 gemäß Fig. 10 einstellt. Dabei wird ein Sollwert einer Sauerstoffkonzentration vorzugsweise in der Motorsteuereinrichtung 6 als ein Konstantwert in einem Kennfeld hinterlegt. Erfindungsgemäß dient hierzu der in Fig. 10 dargestellte Zusammenhang zwischen einer NO_x-Reduktionsrate und einer Abgasrückführrate. Hierdurch wird die Abgasrückführmenge derart eingestellt, dass eine definierte Sauerstoffkonzentration in der angesaugten Luft im Ansaugkanal 15 vorliegt. Somit wird eine im Brennraum gebildete NO_x-

-15-

Emission reduziert und die dafür vorgesehene Abgasnachbehandlung optimiert, so dass in einem nachgeschalteten SCR-Katalysator z.B. die Zudosierung einer NH_3 Menge mit Hilfe der vorliegenden Erfindung optimal vorgenommen werden kann.

DaimlerChrysler AG

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer selbstzündenden Brennkraftmaschine mit einem Zylinder, in dem ein Brennraum zwischen einem Kolben und einem Zylinderkopf begrenzt ist, einer Motorsteuereinrichtung und einer Kraftstoffzufuhreinrichtung, bei dem
 - während eines Arbeitsspiels eine Kraftstoffmenge betriebspunktabhängig zugemessen wird,d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
d a s s
 - die zugemessene Kraftstoffmenge derart in den Brennraum eingespritzt wird, dass
 - eine Lage des Schwerpunkts der Verbrennung unabhängig vom Betriebspunkt der Brennkraftmaschine bei einer bestimmten Kurbelwinkelposition liegt.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass eine aktuelle Lage des Schwerpunkts der Verbrennung in Abhängigkeit von einem erfassten Druckverlauf im Brennraum bestimmt wird, wobei vorzugsweise der Druckverlauf im Brennraum mittels eines Sensors erfasst wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die aktuelle Lage des Schwerpunkts der Verbrennung in Abhängigkeit von einer Kurbelwinkelposition

-17-

bestimmt wird, bei der ein maximaler Zylinderdruck im Brennraum erfasst wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die aktuelle Lage des Schwerpunkts der Verbrennung in Abhängigkeit von einer Kraftstoffeinspritzdauer, einem Kraftstoffeinspritzbeginn, einer Ladungsmasse im Brennraum und einer Drehzahl der Brennkraftmaschine ermittelt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass eine Abgasrückführmenge zur Einstellung einer definierten Sauerstoffkonzentration im Brennraum in Abhängigkeit vom Schwerpunkt der Verbrennung eingestellt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Lage des Schwerpunkts der Verbrennung mittels Variation des Beginns der Selbstzündung oder mittels Variation der Kraftstoffeinspritzung eingestellt wird.

1/5

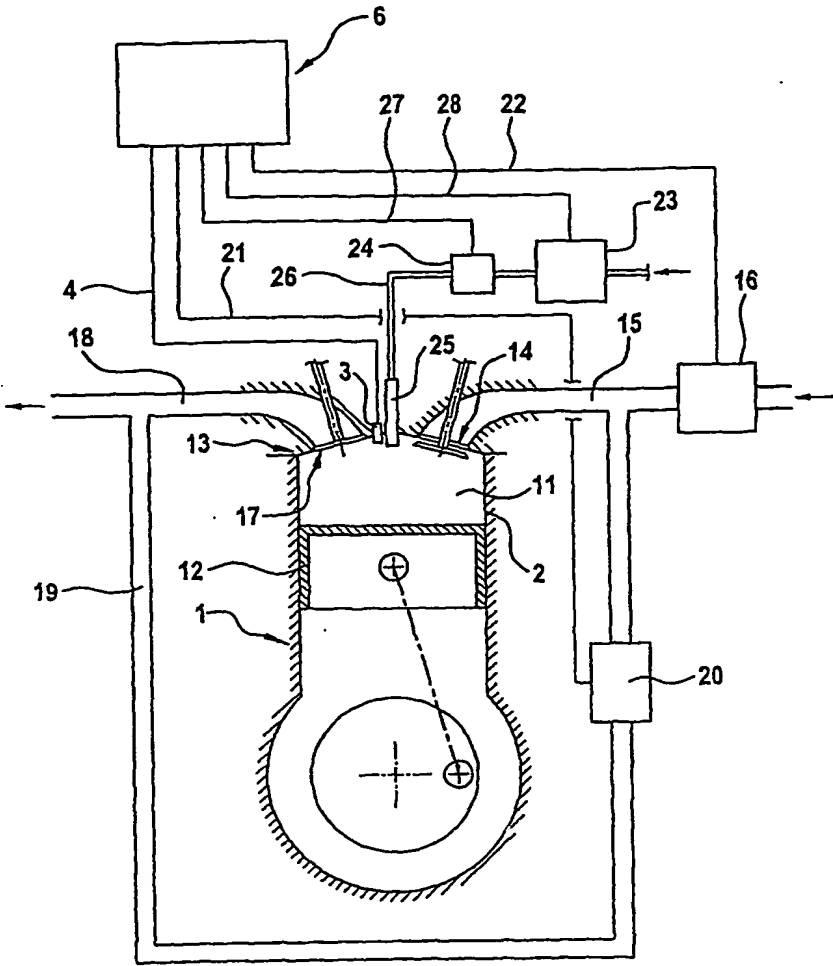


Fig. 1

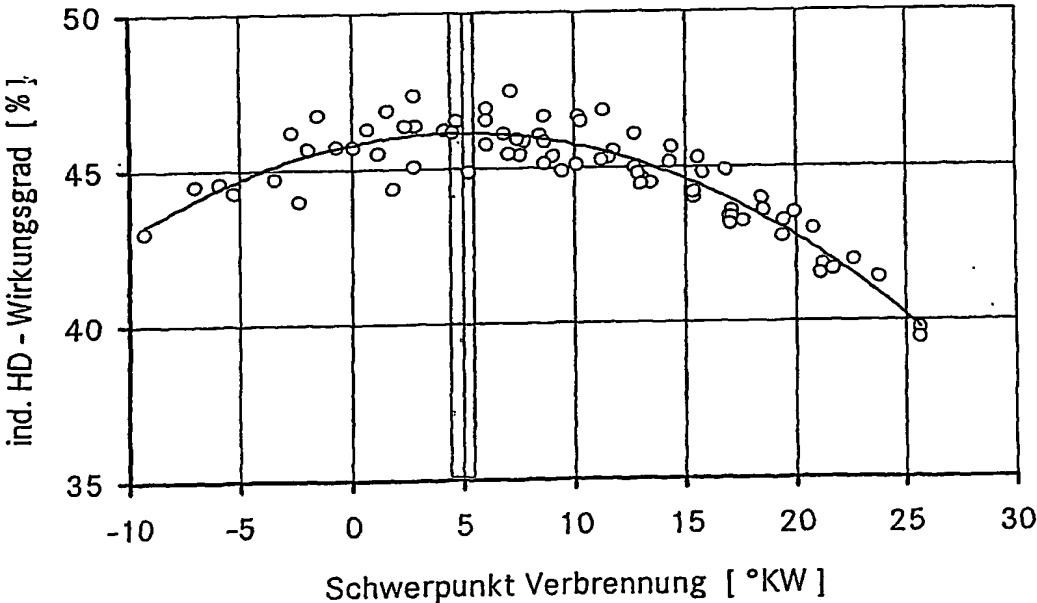


Fig. 2

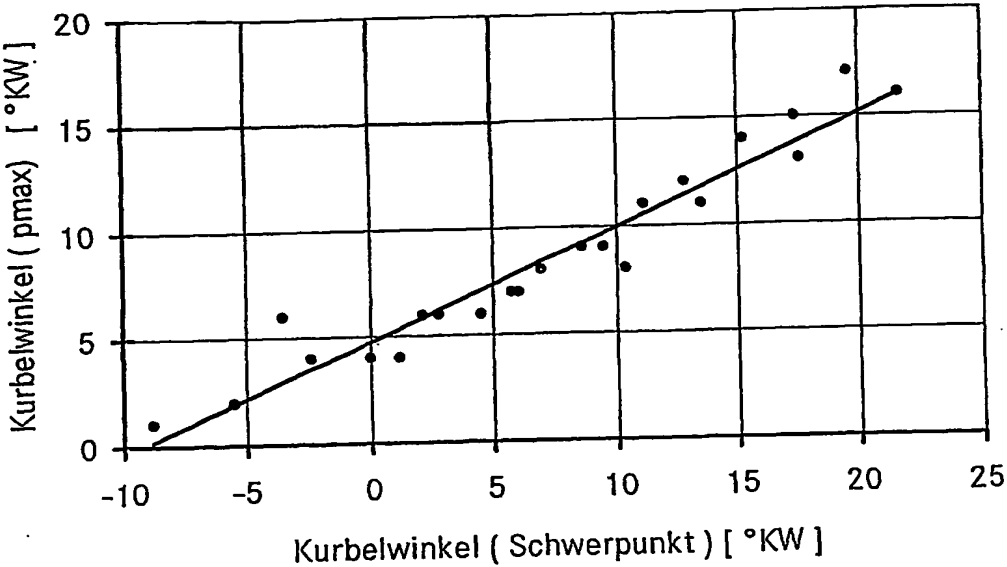


Fig. 3

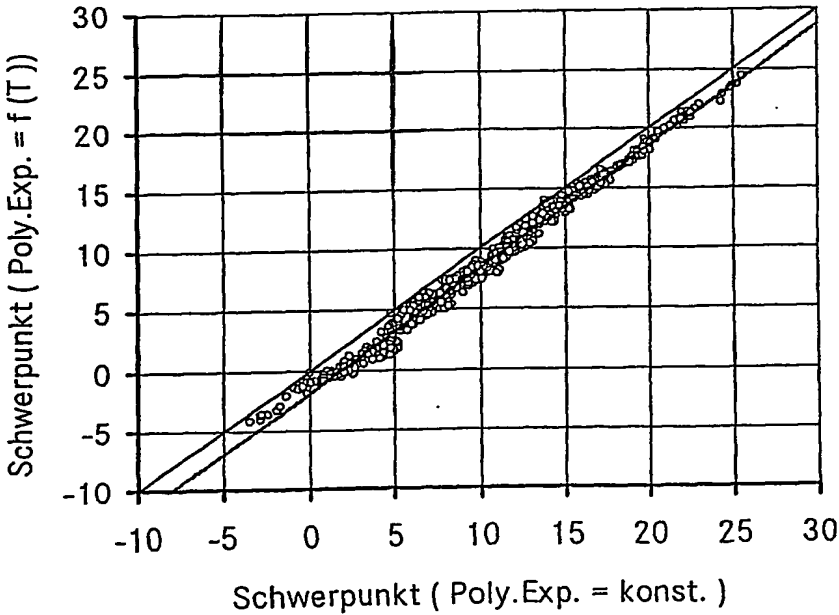


Fig. 4

3/5

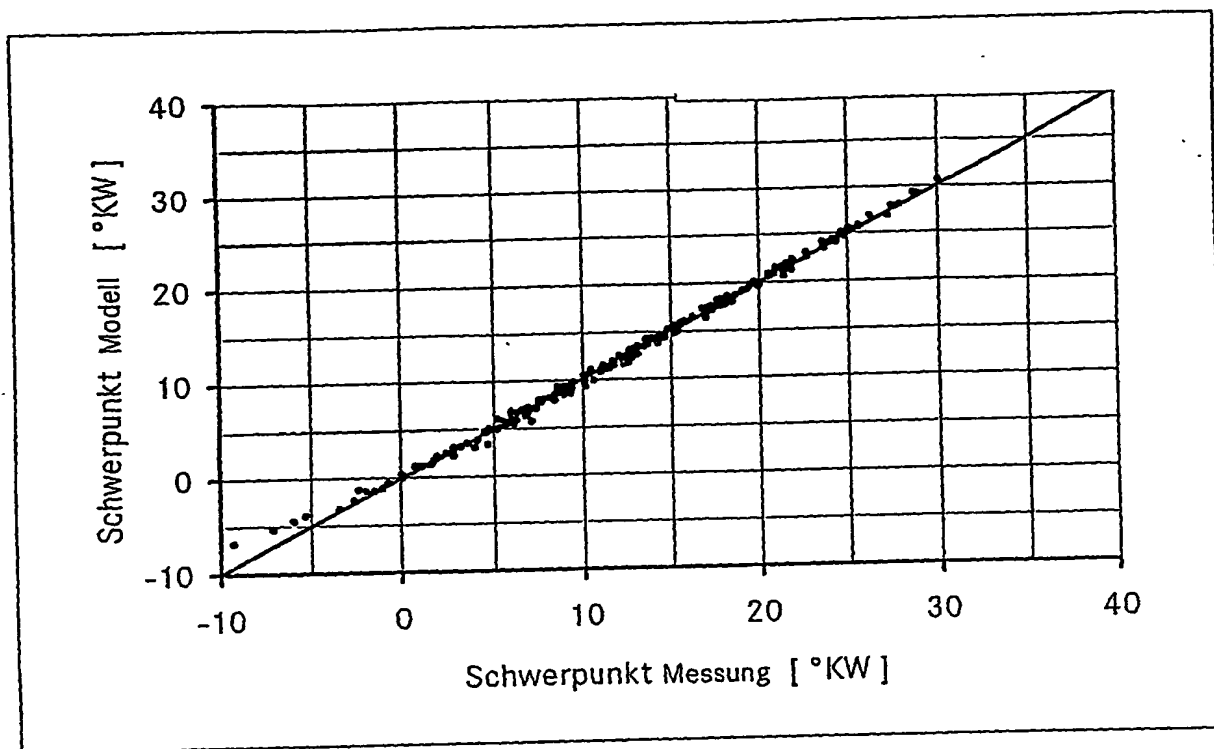


Fig. 5

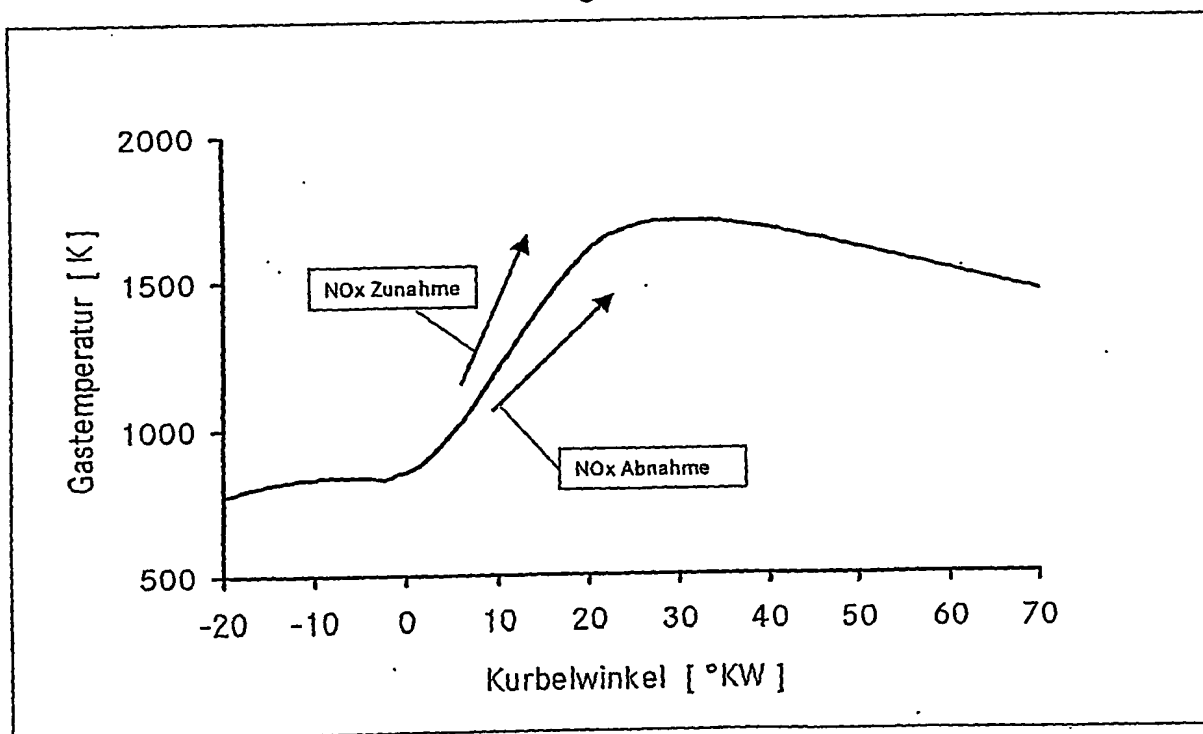


Fig. 6

4/5

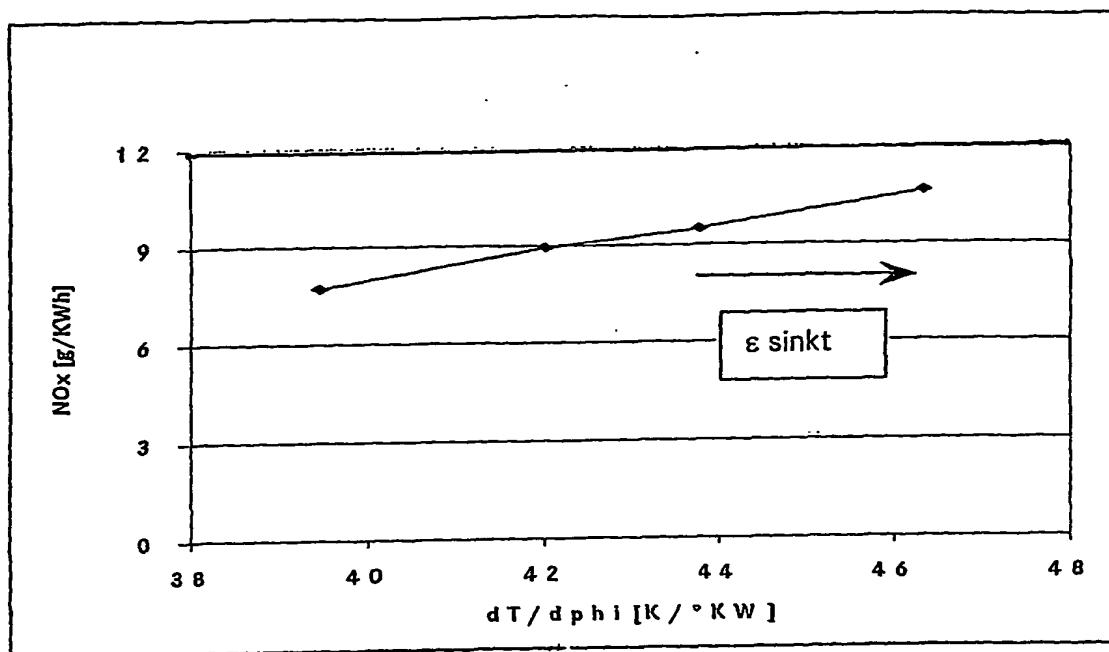


Fig. 7

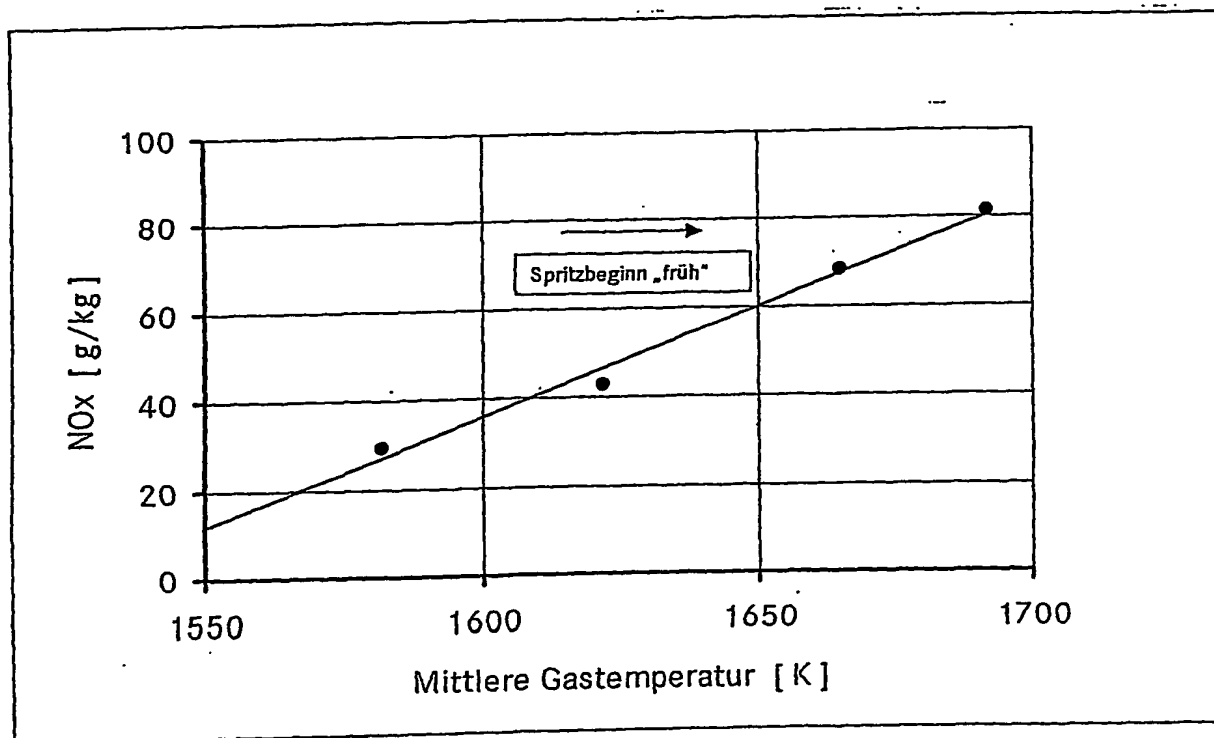


Fig. 8

5/5

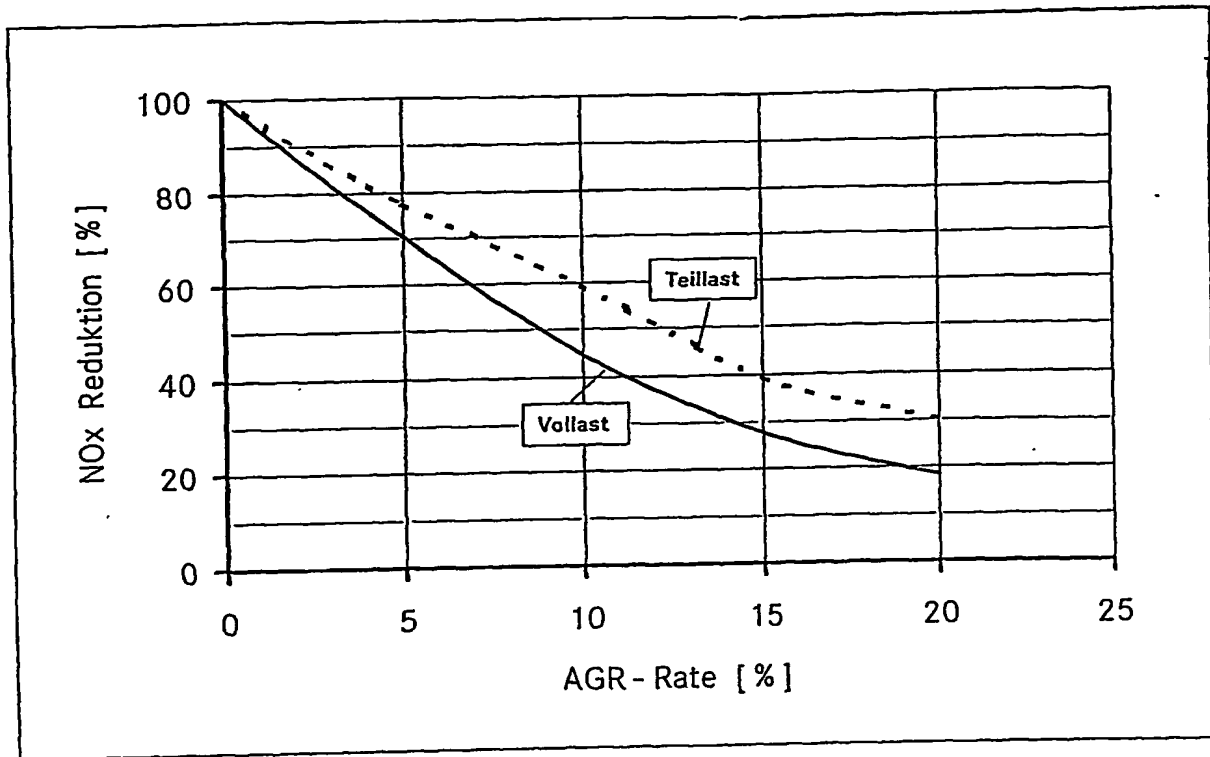


Fig. 9

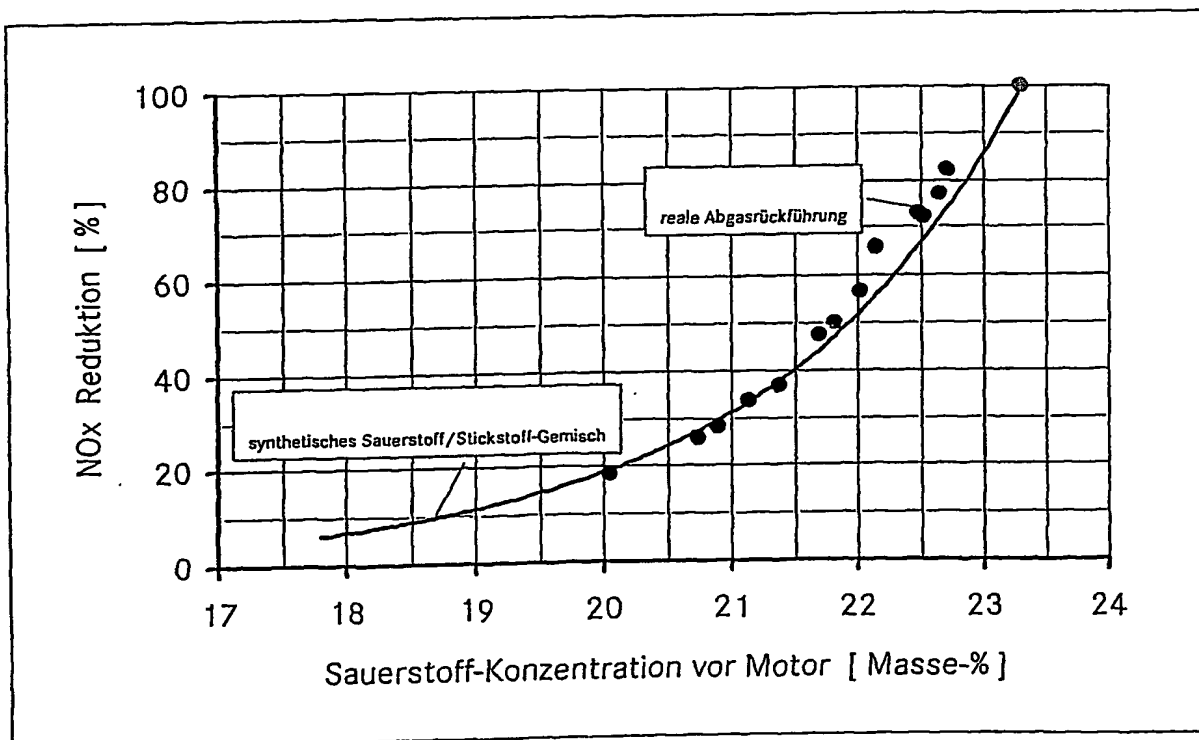


Fig. 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.
PCT/EP2004/003723

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 F02D35/02 F02D41/40

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 F02D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 197 49 817 A (BOSCH GMBH ROBERT) 12 May 1999 (1999-05-12) abstract; claims 1,3,7-9; figure 2 column 2, line 12 - column 2, line 24 column 4, line 19 - column 4, line 41	1-6
Y	EP 0 859 149 A (MANNESMANN VDO AG) 19 August 1998 (1998-08-19) abstract; claim 1; figure 2 column 2, line 25 - column 3, line 1	1,2
Y	DE 37 36 430 A (BOSCH GMBH ROBERT) 11 May 1989 (1989-05-11) abstract; figure 1 column 2, line 37 - column 5, line 5	3
	-/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

28 July 2004

Date of mailing of the international search report

04/08/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Van der Staay, F

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2004/003723

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 198 49 329 A (BOSCH GMBH ROBERT) 27 April 2000 (2000-04-27) column 6, line 32 - column 7, line 28 column 9, line 52 - column 10, line 11 -----	4
Y	DE 100 43 383 A (DAIMLER CHRYSLER AG) 14 March 2002 (2002-03-14) cited in the application abstract; claims 1-5; figure 3 paragraphs '0008! - '0012!, '0023! - '0025! -----	5,6
A	DE 196 06 680 A (ATSUGI UNISIA CORP) 29 August 1996 (1996-08-29) abstract; claims 1,2,8; figure 4 column 2, line 65 - column 3, line 18 column 3, line 49 - column 4, line 24 column 7, line 21 - column 8, line 40 column 9, line 52 - column 9, line 61 -----	1,2,6
A	DE 100 08 553 A (BOSCH GMBH ROBERT) 30 August 2001 (2001-08-30) abstract; claims 1,11; figure 3 column 4, line 50 - column 5, line 10 -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/003723

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19749817	A	12-05-1999	DE 19749817 A1	12-05-1999
			GB 2331153 A ,B	12-05-1999
EP 0859149	A	19-08-1998	DE 19705900 A1	20-08-1998
			EP 0859149 A2	19-08-1998
DE 3736430	A	11-05-1989	DE 3736430 A1	11-05-1989
			DE 3873090 D1	27-08-1992
			WO 8903983 A1	05-05-1989
			EP 0383797 A1	29-08-1990
			JP 3500813 T	21-02-1991
			US 5020360 A	04-06-1991
DE 19849329	A	27-04-2000	DE 19849329 A1	27-04-2000
			JP 2000127807 A	09-05-2000
DE 10043383	A	14-03-2002	DE 10043383 A1	14-03-2002
			WO 0218762 A1	07-03-2002
			EP 1313935 A1	28-05-2003
			JP 2004507652 T	11-03-2004
			US 2004050362 A1	18-03-2004
DE 19606680	A	29-08-1996	JP 8232820 A	10-09-1996
			DE 19606680 A1	29-08-1996
			US 5698776 A	16-12-1997
DE 10008553	A	30-08-2001	DE 10008553 A1	30-08-2001
			GB 2364128 A ,B	16-01-2002
			IT MI20010249 A1	08-08-2002
			JP 2001280194 A	10-10-2001
			US 2002021120 A1	21-02-2002

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/003723

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 F02D35/02 F02D41/40

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 F02D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 197 49 817 A (BOSCH GMBH ROBERT) 12. Mai 1999 (1999-05-12) Zusammenfassung; Ansprüche 1,3,7-9; Abbildung 2 Spalte 2, Zeile 12 - Spalte 2, Zeile 24 Spalte 4, Zeile 19 - Spalte 4, Zeile 41	1-6
Y	EP 0 859 149 A (MANNESMANN VDO AG) 19. August 1998 (1998-08-19) Zusammenfassung; Anspruch 1; Abbildung 2 Spalte 2, Zeile 25 - Spalte 3, Zeile 1	1,2
Y	DE 37 36 430 A (BOSCH GMBH ROBERT) 11. Mai 1989 (1989-05-11) Zusammenfassung; Abbildung 1 Spalte 2, Zeile 37 - Spalte 5, Zeile 5	3
	----- -/-	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

28. Juli 2004

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

04/08/2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Van der Staay, F

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2004/003723

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 198 49 329 A (BOSCH GMBH ROBERT) 27. April 2000 (2000-04-27) Spalte 6, Zeile 32 - Spalte 7, Zeile 28 Spalte 9, Zeile 52 - Spalte 10, Zeile 11 -----	4
Y	DE 100 43 383 A (DAIMLER CHRYSLER AG) 14. März 2002 (2002-03-14) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Ansprüche 1-5; Abbildung 3 Absätze '0008! - '0012!, '0023! - '0025! -----	5,6
A	DE 196 06 680 A (ATSUGI UNISIA CORP) 29. August 1996 (1996-08-29) Zusammenfassung; Ansprüche 1,2,8; Abbildung 4 Spalte 2, Zeile 65 - Spalte 3, Zeile 18 Spalte 3, Zeile 49 - Spalte 4, Zeile 24 Spalte 7, Zeile 21 - Spalte 8, Zeile 40 Spalte 9, Zeile 52 - Spalte 9, Zeile 61 -----	1,2,6
A	DE 100 08 553 A (BOSCH GMBH ROBERT) 30. August 2001 (2001-08-30) Zusammenfassung; Ansprüche 1,11; Abbildung 3 Spalte 4, Zeile 50 - Spalte 5, Zeile 10 -----	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/003723

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
DE 19749817	A	12-05-1999	DE	19749817 A1	12-05-1999
			GB	2331153 A ,B	12-05-1999
EP 0859149	A	19-08-1998	DE	19705900 A1	20-08-1998
			EP	0859149 A2	19-08-1998
DE 3736430	A	11-05-1989	DE	3736430 A1	11-05-1989
			DE	3873090 D1	27-08-1992
			WO	8903983 A1	05-05-1989
			EP	0383797 A1	29-08-1990
			JP	3500813 T	21-02-1991
			US	5020360 A	04-06-1991
DE 19849329	A	27-04-2000	DE	19849329 A1	27-04-2000
			JP	2000127807 A	09-05-2000
DE 10043383	A	14-03-2002	DE	10043383 A1	14-03-2002
			WO	0218762 A1	07-03-2002
			EP	1313935 A1	28-05-2003
			JP	2004507652 T	11-03-2004
			US	2004050362 A1	18-03-2004
DE 19606680	A	29-08-1996	JP	8232820 A	10-09-1996
			DE	19606680 A1	29-08-1996
			US	5698776 A	16-12-1997
DE 10008553	A	30-08-2001	DE	10008553 A1	30-08-2001
			GB	2364128 A ,B	16-01-2002
			IT	MI20010249 A1	08-08-2002
			JP	2001280194 A	10-10-2001
			US	2002021120 A1	21-02-2002